

微生物の電気培養装置に関する調査

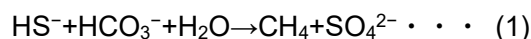
長岡技術科学大学・院工 (非)○鳥居俊介 (非)荒井優真 (正)幡本将史 (正)渡利高大 (正)山口隆司

1. はじめに

嫌気性処理 (メタン発酵) は、複雑な微生物共生系により有機性廃棄物を最終代謝産物であるメタンへと変換する技術である。本技術の低温条件下での運用は、メタン生成古細菌の活性が悪くなり、処理性能が低下する。この問題を解決すべく、本研究は、低温環境下においても活性を保つことが可能な硫酸塩還元細菌による硫黄の酸化還元サイクルを用いた処理プロセスの開発を行っている¹⁾。その低温嫌気性処理技術の開発過程で、実下水処理を行っていた Up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) リアクター下部において、硫酸塩の還元により生じた硫化物が、リアクター上部で硫酸塩に再酸化される現象が確認された²⁾。本現象は酸素、硝酸、亜硝酸などの電子受容体や光が存在しない環境下で起こる新奇な反応 (式 1) であると考えられる。この反応を制御することで、硫酸塩還元細菌を核とした硫化物の発生を伴わない新規な低温下水処理技術を開発できる可能性がある。我々はこの反応を「嫌氣的硫黄酸化反応 (Anerobic Sulfur Oxidation; ASO)」と仮称し、現在は、ASO 反応のメカニズムを解明することを目的に研究を行っている。今日までに、i) 低温 UASB リアクターによる模擬廃水 (硫酸ナトリウム 20mM+糖蜜 200mg l⁻¹) 処理における硫黄動態評価³⁾、ii) 硫化物と重炭酸塩を Widdel 培地へ添加した低温条件下でのバッチ試験⁴⁾、iii) 電位制御型培養装置を用いた ASO 反応の再現⁵⁾などが行われてきた。

電位制御型培養装置を用いた反応の検証に向けては、微生物培養に先立ち、通電に伴う装置内の環境変化を把握する必要がある。そこで本研究では、電気メタン生成の検討に向けた電気培養装置を構築し、通電時のガス発生および運転状態を評価することで、今後の培養試験に向けた基礎条件を把握することを目的とし、予備実験を行った。

嫌氣的硫黄酸化の反応式：



2. 実験方法

2.1 実験装置の概要

本実験で使用した連続型電位制御培養装置概要図を図 1 に示す。本装置は、容量 350 mL の加工されたデュラン瓶 2 つを接続した仕組みとなっており、汚泥の培養を行う側を培養槽、もう一方を対照槽としている。両槽の間には陽イオン交換膜 (Nafion membrane, 0.125 mm thick) を挟み、固定用の器具を用いて両槽を固定し、外気の侵入および培地の漏れを防いだ。培養槽内は、①処理水サンプリングポート、②参照電極とした Ag/AgCl 電極の差し込み口、③作用電極として炭素電極を差し込んだシリコンキャップで蓋を閉めた。一方で、対照槽は、対照電極とした炭素電極を差し込んだシリコンキャップで蓋を閉めた。炭素電極は縦 10 cm : 横 1 cm : 奥行き 0.5 cm となるように加工した。また、3 つの参照電極、作用電極と対照電極はマルチポテンショ・ガルバナスタット PS-08 (東方技研) に接続した。

2.2 培地の組成と調製

培地は、NH₄Cl 535 mg l⁻¹, KH₂PO₄ 136 mg l⁻¹, MgCl₂·6H₂O 204 mg l⁻¹, NaHCO₃ 2520 mg l⁻¹, CaCl₂·2H₂O 147 mg l⁻¹, Resazurin sol., Trace element sol., Se/W sol.をそれぞれ 1.0 ml l⁻¹, Vitamin sol.を 2.0 ml l⁻¹ 含む組成とし、N₂/CO₂ (= 80 : 20) ガスでパージした。

実験は硫化ナトリウム・9 水和物 0.5mmol-S l⁻¹ とシステイン塩酸塩 0.3mg l⁻¹ を含む還元剤ありと還元剤

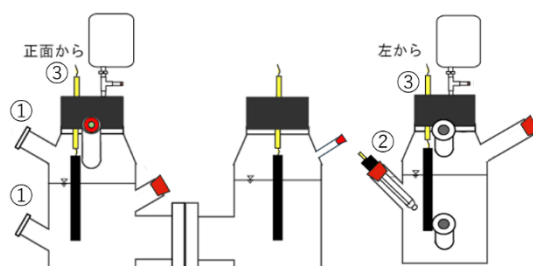


図 1 電位制御培養装置の概要図

なしの2系統で電位は-300mVに設定し実施した。

2.3 分析項目

本実験では、pH、酸化還元電位 (ORP)、酸素濃度を測定した。また、通電時の電流値を確認し、設定電位に対する装置の運転状態を評価した。酸素濃度はガスクロマトグラフィーTCD (GC-2014, 島津製作所) で測定を行った。

3. 結果及び考察

図2にORPの経時変化を示す。ORPは還元剤添加の有無によって異なる推移を示し、還元剤を添加した条件では約-200mVから-250mVの範囲で推移すること確認された。一方、還元剤を添加しなかった条件では-50から-100mVの範囲で推移し高いORPを示した。このことから、予備実験では、還元剤添加の有無によってORPの推移が異なることが確認された。

図3に酸素濃度の経時変化を示す。還元剤を添加しなかった培養槽および対照槽では、酸素濃度の上昇が確認され、測定終了時にはそれぞれ約7%および約6%となった。一方、還元剤を添加した培養槽では酸素濃度の上昇が比較的小さく、測定終了時には約3%となった。また、還元剤を添加した対照槽では、酸素濃度は一時的に上昇した後、低下する傾向が確認された。これらの結果から、還元剤の添加は気相部の酸素濃度の推移に影響を及ぼす可能性が示された。ただし、酸素濃度の変化要因は特定できておらず、電気分解による酸素の発生や、装置内への酸素の混入などが影響している可能性がある。今後は、通電条件や還元剤の添加条件を変えた実験を行い、その要因を検討する必要がある。

pHはすべての条件で約7.0となり、大きな変化は認められなかった。予備実験では、酸素濃度およびORPは還元剤添加の有無によって異なる変化を示した一方、pHはおおむね一定に維持された。今後は、酸素濃度の変化要因を明らかにする必要がある。

4. まとめと今後の展望

本実験では、微生物の電気培養に向けた電位制御型培養装置を構築し、通電時の酸素濃度、ORPおよびpHの経日的推移を評価した。その結果、酸素濃度およびORPは還元剤添加の有無によって異なる推移

を示し、還元剤の添加が酸素濃度の変化に影響を及ぼす可能性が示された。また、pHはすべての条件で約7.0に維持された。

今後は、酸素濃度の変化要因を明らかにするとともに、嫌気環境を維持するための運転条件を確立する。そのため、攪拌条件や電極面積、還元剤の添加条件および通電条件を検討するとともに、電子メディアータの導入による電子移動への影響について評価する。さらに、確立した条件下で微生物培養試験を行い、電位制御が嫌気性微生物の活性および嫌氣的硫黄酸化反応に及ぼす影響を評価する。

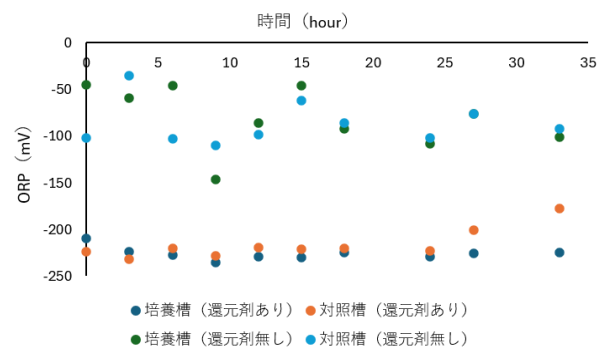


図2 ORPの推移

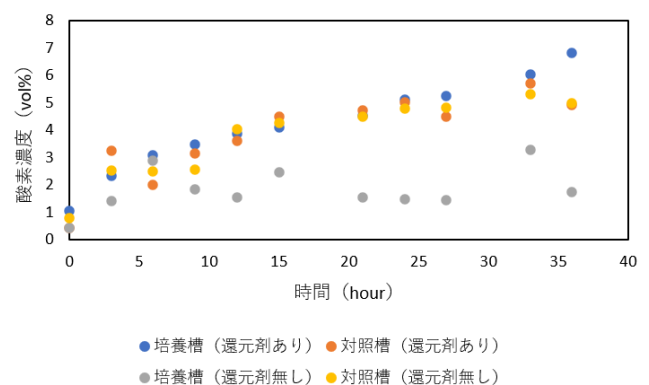


図3 気相部の酸素濃度の推移

参考文献

- 1) 角野ら(2003), 環境工学研究論文集, Vol.40, pp.431-440.
- 2) 幡本ら (2014), 日本微生物生態学誌, 29(2): 76-77.
- 3) 中久保ら (2022), 第40回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会要旨
- 4) 稲益ら (2023), 第41回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会要旨
- 5) 臼井ら (2013) 第47回日本水環境学会年次学術講演会講演集要旨